

**Bouwstenen** voor de **Richtlijn**

**Restauratiebaksteen**

**&**

**Metselmortels**

voor restauratie van  
zwaar regenbelast historisch metselwerk

dr ir Caspar Groot / Jos Gunneweg  
Delft, maart 2007



## 1. Algemeen

### status en procedure

Deze bouwstenen vormen de basis voor een in ontwikkeling zijnde richtlijn. In het lopende jaar zal op basis van de bouwstenen een concept richtlijn door de Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten (RACM opvolger van de vroegere RDMZ), TU Delft en vertegenwoordigers van onderzoeksinstituten en marktpartijen in de sector worden uitgewerkt. De concept richtlijn zal worden voorgelegd voor commentaar aan een grote groep potentiële gebruikers. Na aanpassing kan de richtlijn – in een nader te bepalen vorm – worden afgerond en geformaliseerd. De bouwstenen kunnen vooruitlopend daarop al worden gebruikt voor bijvoorbeeld het opstellen van een bestek.

### context

De bouwstenen voor de richtlijn mortel en steen zijn onderzoeksresultaten van de deelprojecten (i) “kwaliteitseisen restauratiebaksteen” en (ii) “kwaliteitseisen metselmortels in kalk” van het onderzoeksproject “Aanpak Vochtproblematiek massief Metselwerk”. Dit onderzoeksproject wordt in opdracht van de Stichting Federatie Monumentenwacht Nederland uitgevoerd onder supervisie van de Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten (RACM) door TU Delft, faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen. Onderzoekers zijn dr ir C.J.W.P. Groot en J. Gunneweg.

### doel

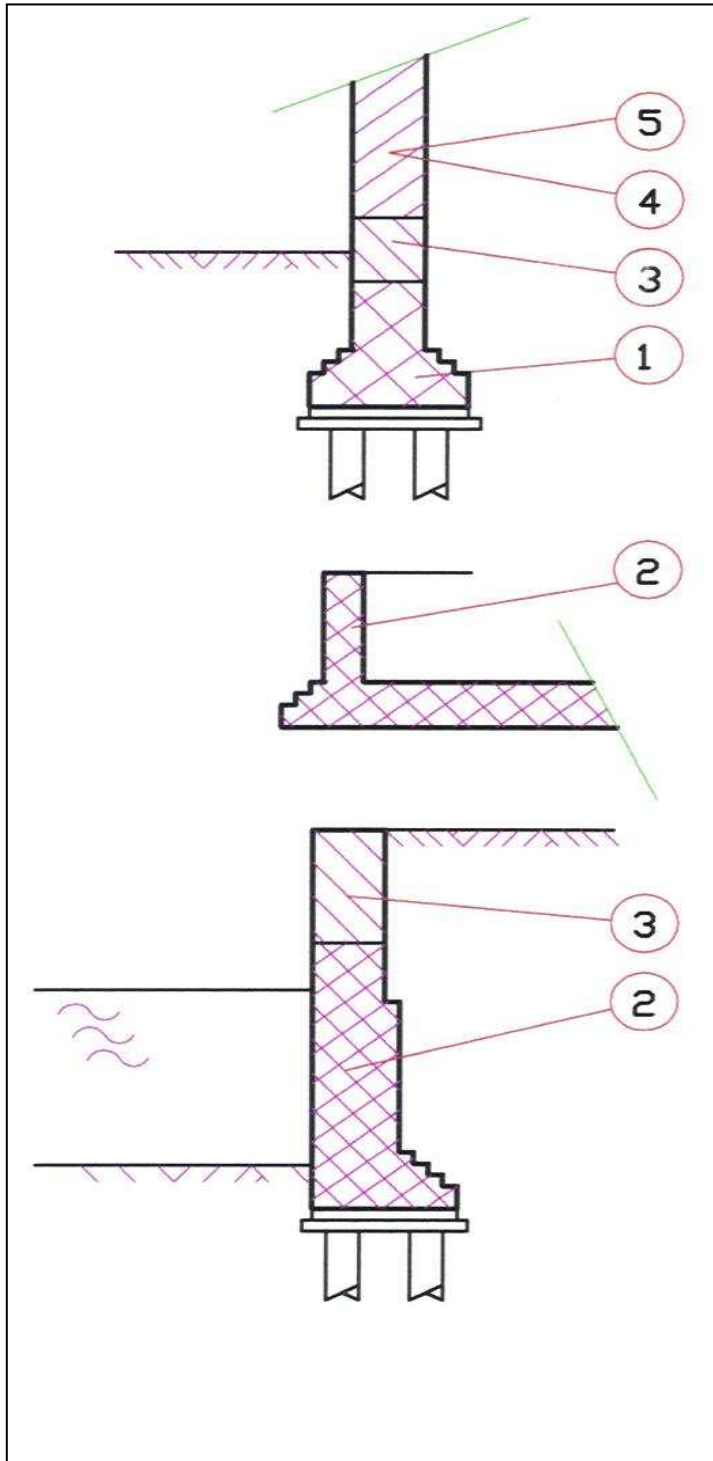
Gedurende de laatste decennia komen regelmatig vrij kort na restauratie van zwaar regenbelast massief metselwerk in monumenten waterdichtheidsproblemen voor. Een belangrijk deel van de problematiek is terug te voeren op fouten in de keuze van de gebruikte restauratiestenen en de toegepaste mortels en op onvoldoend vakmanschap tijdens de uitvoering.

Doel van de te ontwikkelen richtlijn is het bieden van houvast aan de restauratiepraktijk mbt baksteenkwaliteit, bindmiddelkeuze en recepturen van mortels *op basis van kalk* die worden toegepast bij de restauratie van zwaar regenbelast opgaand vollewand (= massief) metselwerk van monumentale bouwwerken. Te denken is aan fabrieksgebouwen, watertorens, vuurtorens, vestingwerken, kerktorens en west-gevels van kerkgebouwen, rompen van bakstenen windmolens etc.. Oorspronkelijk meestal uitgevoerd met ‘doorgestroken’ voegen.

Voor de restauratiestenen worden grenswaarden gegeven voor de parameters Hallergetal (Initiële Wateropzuiging, IW) en vrije waterabsorptie. Voor de mortels worden uitgangspunten gegeven voor de mortelreceptuur van bouwplaatsgemengde mortels en van pre-fab kalkmortels.

Tevens wordt een aantal eenvoudige praktijkproeven beschreven en worden aanbevelingen gedaan betreffende aspecten als verwerking en verwerkbaarheid, waaronder de doorstrijkeigenschappen.

Tabel 1 Toepassingsgebieden / baksteenkwaliteiten / morteltypen



Zone	Toepassingsgebied ( zie aanduidingen op principetekening)	voorbeelden	aanbevolen restauratie baksteen kwaliteit	aanbevolen restauratie mortel type
1	funderingen	de aanleg en de voet van de muur	R 6 (Rood)	A (niet hydraulisch)
2	Waterkerend werk onder water	Kelders;kademuren onder de waterlijn; bij poldermolens:wielbak, opleider en krimp	R 1 ( Kelderklinker)	E (sterk hydraulisch)
3	Permanent vochtig werk	Trasramen, kademuren boven de waterlijn, grondkerende muren; bij poldermolens: waterloopsmuren	R 2 (Trasraamklinker)	D (gematigd hydraulisch)
4	<b>Opgaande muren met hoge regenbelasting e/o bijzondere verwerende omstandigheden*</b>  - gem. dikte minimaal 40 cm ; WF 2 steens; IJF 2 ½ steens: R 3 ----- - gem. dikte vanaf 45 cm; WF 2 ½ steens; IJF 3 steens: R 4	Watertorens, kerken vuurtorens, molens, hoge solitair gelegen gebouwen met rechthoekige plattegrond  *beh. Middeleeuwse zeer dikke muren; en muren in zgn 'veldbrand steen'.	R 3 (Gevelklinker)  -----  R 4 (Hardgrauw)	C (licht hydraulisch)    C (licht hydraulisch)
5	Opgaande muren zonder hoge regenbelasting	Alle overige opgaande muren	R 5 (boerengrauw)	B (zwak hydraulisch)
6	binnenmuren	Dragend en niet dragend	R 6 (Rood)	A ( niet hydraulisch)

## 2. Bouwstenen keuze baksteen

### 2.1 Eisen baksteen

**Toepassing zone 4** (zie Tabel 1 Toepassingsgebieden / baksteenkwaliteiten / morteltypen)

#### • R 3 (Gevelklinker)

**Hallergetal (opzuiggedrag; initiële wateropzuiging)**

*I.W. (Initiele Wateropzuiging ; Europese norm)*

**Gemiddeld (10 stenen):** 17,5 [ g / dm<sup>2</sup> / min. ] / I.W. 1,8 [ kg/ m<sup>2</sup> / min.]

Bovengrens (individueel) : 20 [ g / dm<sup>2</sup> / min. ] / I.W. 2,0 [ kg/ m<sup>2</sup> / min.]

Ondergrens (individueel) : 15 [ g / dm<sup>2</sup> / min. ] / I.W. 1,5 [ kg/ m<sup>2</sup> / min.]

**Vrijwillige wateropneming (vrije waterabsorptie)**

**Bovengrens:** 25 % [V/V]

---

#### • R 4 ( Hardgrauw )

**Hallergetal (opzuiggedrag; initiële wateropzuiging)**

*I.W. (Initiele Wateropzuiging ; Europese norm)*

**Gemiddeld (10 stenen):** 25 [ g / dm<sup>2</sup> / min. ] / I.W. 2,5 [ kg/ m<sup>2</sup> / min.]

Bovengrens (individueel) : 30 [ g / dm<sup>2</sup> / min. ] / I.W. 3,0 [ kg/ m<sup>2</sup> / min.]

Ondergrens (individueel) : 20 [ g / dm<sup>2</sup> / min. ] / I.W. 2,0 [ kg/ m<sup>2</sup> / min.]

**Vrijwillige wateropneming (vrije waterabsorptie)**

**Bovengrens:** 35 % [V/V]

---

## 2.2 Beschrijving testmethoden

### Benodigd:

Weegschaal 0 – 5000 g; stopwatch (of horloge met secondenwijzer); plastic bak (afwasteiltje); jerrycan water; afstandhouders (bijv. rvs moeren of ringen); meetlat; watervaste viltstift; schrijfblok en balpen; afdroogdoek; de te onderzoeken bakstenen, op een cv radiator min. 2 dagen gedroogd.

Het is verstandig eerst de Hallerproef uit te voeren en daarop aansluitend de vrijwillige wateropneming te bepalen.

### Hallerproef (opzuiggedrag; initiële wateropzuiging)



Figuur 1 Proefopstelling Hallergetalbepaling

- Voorzie de stenen van een merkteken met de viltstift; meet en noteer l x b x d van elke steen in dm.
- Bereken oppervlak legvlak (zool)  $O = l \times b$  [dm<sup>2</sup>].
- Weeg de gedroogde stenen en noteer: Gd (gewicht droog).
- Leg afstandhouders in de bak zodanig dat daar een steen op zijn platte zijde op past
- Giet water in de bak tot ca 4 mm boven de afstandhouders
- Leg de steen behoedzaam op de afstandhouders in het water en zet de stopwatch in werking
- Na 60 seconden steen uit het water nemen; aanhangend water afdeppen met vochtige doek, vervolgens wegen: Gn (gewicht nat)
- Bereken: Gn - Gd = wateropzuiging.
- Delen door oppervlak:

**Hallergetal:**  $[Gn - Gd] / O$  in [g / dm<sup>2</sup> / min]  
(delen door factor 10 = I.W. (initiële wateropzuiging))

#### Rekenvoorbeeld:

Monster H1G

Afm: 2,02 (L) x 0,93 (B) x 0,44 (D) [dm]; opp zool L x B = 1,88 [dm<sup>2</sup>]

Gd = 1539 g; Gn = 1574 g

Wateropzuiging  $1574 - 1539 = 35$  : 1,88 (opp) =

**18,6 [g/dm<sup>2</sup>/min] = Hallergetal** (IW=1.86)

## Vrijwillige wateropneming (vrije waterabsorptie)



Figuur 2 Onderdompeling in twee fasen: eerst gedeeltelijk (links) zodat lucht uit het monster kan ontsnappen, vervolgens geheel (rechts)

**Aansluitend op de Hallerproef.**

- Vul de bak verder met water tot plm 5mm onder de bovenkant van de stenen.
- Leg de stenen op afstandshouders in de bak en noteer tijdstip.
- Na 24 uur verder bijvullen tot plm 10mm boven bovenkant stenen.
- Na wederom 24 uur ( $t_{\text{totaal}} = 48$  uur), stenen uit de bak nemen, afdeppen en wegen: Gn2
- Bereken volume steen  $V = l \times b \times d$ , in  $[\text{dm}^3]$  \*).
- Bereken: Gn2 - Gd (gewicht droge steen, zie bij Hallerproef, nu uitgedrukt in [Kg] )

De vrijwillige wateropneming (VW) of vrije waterabsorptie in %  $[V / V]$  is dan:

$$\text{VW} = \left( \frac{\text{Gn2} - \text{Gd}}{V} \right) \times 100 \text{ \% } [V / V]$$

*\*) in de gestandaardiseerde, genormeerde uitvoering van deze proef is volumebepaling door **weging van de verzadigde steen onder water, voorgeschreven.***

*Dit vereist echter speciale voorzieningen. De afwijkingen die volumebepaling dmv meten en berekenen oplevert zal ook bij een handvorm steen, zo gering zijn dat de afwijkingen in de uitkomsten van de te berekenen waarden, binnen aanvaardbare grenzen zullen liggen*

**Rekenvoorbeeld:**

Monster H1G

Afm: 2,02 ( L ) x 0,93 ( B ) x 0,44 ( D ) [dm]; Volume 0,827 [ dm<sup>3</sup> ]

Gd 1539 g ; Gn2 1710 g

Vrijwillige waterabsorptie

$$1710 - 1539 = 171 \text{ g} = 0,171 \text{ Kg} : 0,827 \text{ (vol) } \times 100\% =$$

$$20,4 \text{ \% } [V/V]$$

alternatief, indien uitgedrukt in %  $[M/M]$  :

Vrijwillige waterabsorptie

$$1710 - 1539 = 171 \text{ g} = 0,171 \text{ Kg} : 1,539 \text{ (Gd) } \times 100\% =$$

$$11,1 \text{ \% } [M/M]$$



### 3. Bouwstenen keuze mortel

#### 3.1 Eisen mortel

##### Beschrijving morteltypen - H.I. Hydrauliteitsindex

De 'bouwkalk' zoals die in zijn diverse verschijningsvormen tegenwoordig op de markt is, is als uitgangspunt genomen. Al dan niet aangevuld met een puzzolaan. In deze richtlijn zijn daarom de morteltypen gekarakteriseerd naar mate van hydrauliteit: van 'luchthardend' tot 'sterk hydraulisch'. Hierbij wordt gehanteerd de hydrauliteitsindex volgens Boynton; de H.I. loopt van 0 (zuivere luchtkalk) tot 1,1 (sterk hydraulisch).

**Ingedeeld naar hydrauliteitsklasse, worden 5 morteltypen onderscheiden (Boynton):**

A - niet hydraulisch :		H.I. < 0,15
B – zwak hydraulisch :	0,15 <	H.I. < 0,3
C – licht hydraulisch:	0,3 <	H.I. < 0,5
D - gematigd hydraulisch :	0,5 <	H.I. < 0,7
E - sterk hydraulisch :	0,7 <	H.I. < 1,1

( nb: H.I. > 1,1 volledig hydraulische reactie)

#### Definities en eisen mortelstoffen

##### Kalk

Kalk in de recepturen voor bouwplaats gemenge mortels morteltype B-1: *gehydrateerde luchtkalk*, met een actief kalkhydraatgehalte van > 90% volgens de normen EN 459-1 CL 90- S.

Kalk in de recepturen voor bouwplaats gemenge mortels morteltype B-2: *gehydrateerde natuurlijke lichthydraulische kalk* volgens de normen EN 459-1 NHL 2 - S.

##### Tras

Tras in de recepturen voor bouwplaats gemengde mortels morteltype B-1 is Rijnse Tras, met een minimaal sulfaat (SO<sub>3</sub>) gehalte: Trassmehl volgens DIN 51043.

##### Zand

Het aggregaat in de recepturen voor bouwplaats gemengde mortels is fijn metselzand met een maximale korreldiameter van 1/3 van de te maken mortelvoegdikte, waarvan de korrelverdeling dient te vallen binnen het aanbevolen gebied aangegeven in NEN 3835.

##### Water

Schoon leidingwater.

## 3.2 Eisen bouwplaatsgemengde en prefab mortels voor toepassing zone 4

### Nieuw werk

De keuze van mortel en steen is afhankelijk van de eisen die gesteld worden aan het metselwerk; deze zullen voor massief metselwerk voor toepassingszone 4, waarin mortels op basis van kalk worden toegepast, veelal neerkomen op:

#### Eisen

- Waterdichtheid hoog
- Hoge vervormingscapaciteit
- Matige sterkte

Aanbevolen licht-hydraulische mortels in combinatie met matig zuigende steen (Hallertal 20-30 / I.W. 2 – 3 , zie par. 2.1).

#### Eigenschappen mortels

- Druksterkte 4-5 N/mm<sup>2</sup>
- Hydraulischeindex  $0.3 < HI < 0.5$
- Elasticiteitsmodulus 8 – 10.000 N/mm<sup>2</sup>
- Vrije wateropneming (open porositeit) 25-30 % (v/v)

Uitvoering: testen op verwerkbaarheid zodat vol-en-zat werk goed uitvoerbaar en doorstrijken mogelijk is.

### Inboetwerk

#### Eisen

- Materiaaleigenschappen van het nieuwe materiaal in de buurt van het oude materiaal (compatibiliteitseis)

#### Benodigde informatie

a) type bindmiddel b) type aggregaat (bijv zand) en korrelverdeling c) bindmiddel-aggregaat verhouding

d) zoutbelasting

Vervolgens worden, voor zover van toepassing, de effecten van zoutbelasting en vorstbestandheid op de samenstelling vastgesteld.

Uitgaande van deze gegevens wordt een herstellmortel samengesteld met eigenschappen *die in de buurt* van de oude mortel liggen, rekening houdend met een gewenste kleur en textuur van de mortel.

## **Voorkeursrecepturen bouwplaats gemengde mortels voor toepassing zone 4**

### **Algemeen**

In algemene zin wordt aanbevolen de metselmortelreceptuur te baseren op de volgende uitgangspunten:

- mortels op basis van (i) licht-hydraulische kalk , natuurlijk (NHL 2) dan wel (ii) een licht hydraulische basterdmortel op basis van een puzzolaan (bijv. tras) en zuivere luchtkalk
- de Hydrauliciteits Index (H.I.) van de mortels: 0,3-0,5
- verschraling tussen 1 : 3 en 1 : 2, afhankelijk van de resultaten van de praktijkproef verwerkbaarheid
- zandgradering volgens metselnorm (NEN 3835) met grootste korreldiameter 1/3 mortelvoegdikte

### **Recepturen**

*Nader te bepalen voor de concept richtlijn*

### 3.3 Vooronderzoek en verwerking

#### Vooronderzoek ten behoeve van keuze restauratiemetselmortel

##### Algemeen

De uitgebreidheid van het onderzoek hangt af van:

- De betekenis van het te restaureren object voor het cultureel erfgoed
- De omvang van de interventie
- De complexiteit van het geconstateerde probleem (om adequate maatregelen te nemen en toekomstige problemen te voorkomen is het van groot belang de oorzaken van de problemen te kennen)

Wanneer een deskundige raadplegen?

*Nader in te vullen in overleg tbv vaststelling concept richtlijn*

##### Typologie bestaande legmortel

Voor het bepalen van het toe te passen morteltype dient men de samenstelling van de oude legmortel te hebben onderzocht.

Bij een project van enige culturele betekenis (*nader te definiëren in concept richtlijn*) worden van de oude mortel minimaal de volgende karakteristieken bepaald:

a) type bindmiddel b) type aggregaat (bijv zand) en korrelverdeling c) bindmiddel-aggregaat verhouding \*) d) zoutbelasting.

*\*) voorzichtigheid is geboden bij interpretatie van de bindmiddel / aggregaat verhouding omdat de oude bindmiddelen een andere fijnheid en zuiverheid hadden dan de huidige.*

Bij projecten van geringe omvang en geringe culturele betekenis mag op visuele wijze de typologie van de legmortel worden vastgesteld.

##### Verwerking

###### ***Bouwplaats gemengde mortels***

Noodzaak voorbevochtigen – waterdosering

Uitgangspunt is dat de te verwerken restauratiestenen voldoen aan de eisen klassen R3 Gevelklinker of R4 Hardgrauw; zie paragraaf 2.1 Eisen Baksteen). Deze stenen behoeven in het algemeen niet te worden voorbevochtigd. Sterker zuigende stenen (Haller > 25 / I.W. > 2,5) minimaal 24 uur tevoren voorbevochtigen.

###### ***Mortelvoegdikte – doorstrijkbaarheid***

Worden op de bouwplaats door de metselaar bepaald cq getest aan de hand van de in par. 3.4 gegeven 'Praktijktest verwerkbaarheid en doorstrijkeigenschappen' .

###### ***Seizoensaspect***

Niet metselen in de periode november – maart.

###### ***Prefab-mortels***

Aanvullend op de hierboven gestelde uitgangspunten gelden de voorschriften van de producent / leverancier.

### 3.4 Testmethoden

#### Bepaling zoutbelasting

##### Algemeen

De zoutbelasting kan op verschillende manieren worden vastgesteld. In de onderzoekspraktijk worden de geleidbaarheidsproef en de hygrische absorptieproef uitgevoerd. De geleidbaarheidsproef geeft een klasse-indeling (niet, matig, sterk zoutbelast). Deze proef wordt ook veel gebruikt door de mortelleveranciers. Bij de hygrische absorptieproef worden de resultaten gerelateerd aan praktijkkennis over de mate van zout belasting.

##### Geleidbaarheidsproef

Bepalen zoutbelasting dmv geleidbaarheidsproef van 3 gruismonsters op drie verschillende plekken aan de westzijde van het gebouw. Of bij klein herstelwerk, op de plek waar gewerkt moet worden. De monsters moeten een mengsel van steen en mortel bevatten.

Om reden van kostenbesparing, de drie gruismonsters goed dooreen mengen en dat gemengde monster gebruiken voor de uitvoering van de proef.

De huidige gestandaardiseerde eenheid is **mS/m (mili Siemens per meter)**.

De vroeger gehanteerde waarde:  **$\mu\text{S/cm}$**  (*micro siemens per centimeter*; *nb. = mS/m \* 10*)

#### Categorieën geleidbaarheid in mS/m ( $\mu\text{S/cm}$ ):

- **< 50 mS/m (500  $\mu\text{S/cm}$ ) niet zoutbelast:**  
*gegeven aanbevelingen mortelrecepturen (par. 3.2) zijn zondermeer toepasbaar.*
- **50 – 100 mS/m (500 – 1000  $\mu\text{S/cm}$ ) matig zoutbelast:**  
*gegeven aanbevelingen mortelrecepturen (par. 3.2) zijn wellicht toepasbaar.*  
Overleg met deskundige mortelleverancier of onafhankelijk deskundige is raadzaam.
- **100 mS/m (1000  $\mu\text{S/cm}$ ) sterk zoutbelast:**  
*gegeven aanbevelingen mortelrecepturen zijn (par. 3.2) waarschijnlijk niet toepasbaar.*  
Nadere chemische analyse zoutbelasting noodzakelijk (chloriden, sulfaten, nitraten). Aan de hand van de uitkomst dient door en deskundige mortelleverancier of onafhankelijk deskundige een op de situatie aangepast bindmiddel te worden gekozen in een speciaal ontworpen receptuur. Deze dient qua fysische en mechanische compatibiliteit zo dicht mogelijk bij de oorspronkelijke legmortel te passen.

**Bepaling hydraulische index**

1. Van het bindmiddel of de prefab mortel een chemische mortelanalyse te maken, volgens EN 196-2 part 2., aangehaald in de Bouwkalk norm NEN EN 459-2-2001 (E) (bepaling gloeiverlies waarna elementenanalyse mbv de natchemische methode).
2. Bereken H.I. (hydraulische index) volgens Boynton\*, met onderstaande formule:

$$\text{H.I.} = \frac{2,8\% \text{ SiO}_2 + 1,1\% \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7\% \text{ Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{ CaO} + 1,4\% \text{ MgO}}$$

3. Stel de hydraulische klasse vast:

A - niet hydraulisch :	H.I. < 0.15
B – zwak hydraulisch :	0,15 < H.I. < 0,3
C – licht hydraulisch:	0.3 < H.I. < 0.5
D - gematigd hydraulisch :	0.5 < H.I. < 0.7
E - sterk hydraulisch :	0.7 < H.I. < 1.1

(nb: >1,1 volledig hydraulische reactie)

\*Boynton – 1966 *Chemistry and technology of lime and limestone* "cementation index" (C.I.)

Voor morteltype C dient de uitkomst derhalve te liggen tussen 0,3 – 0,5 .

**Verwerkbaarheidsproef****Praktijktest verwerkbaarheid en doorstrijkeigenschappen**

Ga als volgt te werk:

- maak kleine hoeveelheid specie aan, waterdosering tot gewenste verwerkbaarheid
- voorbevochtiging sterk-zuigende stenen (Haller >25); geen voorbevochtiging voor matig-zuigende stenen (Haller 15-25)
- op onderleggers van plaatmateriaal uit de vrije hand enkele uit 3 stenen bestaande T-vormige proefstukjes metselen als op onderstaande foto's, met zo klein mogelijke mortelvoegdikte
- strijk de voegen door met de uitstulpende metselmortel; niet eerder dan na ca. 15 min.

Beoordeel of verwerkbaarheid en doorstrijkeigenschappen van de mortel voor deze mortel / steen combinatie geschikt zijn. Let daarbij op plasticiteit, ontmenging, waterretentie, doorstrijkmogelijkheden.  
De uit de vrije hand gerealiseerde dikte van de mortelvoeg moet om en nabij die van de in het werk te maken mortelvoegdikte zijn.



*Vervaardiging T-Vormig proefstuk*



*Proefstukken*

*Figuur 3 Verwerkbaarheidsproef*